SMHI OCEANOGRAFI
Nr 40, 1990

SPRIDNINGSBERÄKNINGAR I KALMAR SUND FÖR MÖNSTERÅS BRUK

ce 2 Rapport SMHI

SMHI OCEANOGRAFI
Oceanografiska sektionen

Nr 40, 1990

91. 08 15
BIBLIOTEKET

SPRIDNINGSBERÄKNINGAR I KALMARSUND FÖR MÖNSTERÅS BRUK

Cecilia Ambjörn
Kjell Wickström

Norrköping juni 1990

1 SAMMANFATTNING

Södra Skogsägarna planerar bygga ut Mönsterås Bruks massafabrik och vill därför få spridningen av avloppsvattnet i Kalmar sund belyst.

SMHI har utfört strömmätningar i sju punkter under 3 månader våren 1990. Sex olika typiska strömningsmönster har beräknats med en tredimensionell numerisk modell. Strömmätningarna utgör drivning och verifiering av modellen samt beskriver strömmens tidsvariationer. Spridningen av avloppsvattnet har beräknats och kartering har utförts över spårämne från utsläppstuben.

Vattnet i Kalmar sund är homogent med salthalten 7.1 - 7.6 promille.

De generella strömningsmönstren i norra Kalmar sund visar att strömmen oftast är sydgående på västra sidan och nordgående ström dominerar på den östra sidan. Allmänt sett var den nordgående strömmen mot Öland relativt stabil under mätperioden. Det förhållandet inkluderar även sundet vid Skäggenäs.

Vid nordgående nettoström genom sundet erhölls varierande strömmar mot fastlandet och nordgående vid Öland på alla djup.

Vid sydgående nettoström erhölls sydlig ström på västra sidan utom i nordligaste delen, där varierande ström rådde. Mot Öland var strömmen sydgående vid Skäggenäs och norr om Borgholm var den nordgående vid hälften av tillfällena. I nordligaste delen av sundet erhölls ström mot norr vid varje tillfälle.

Strömmarna drivs av den storskaliga cirkulationen i Östersjön. Vattenytans lutning längs kusten samt den regionala vinden visar båda tydliga samband med nettoströmmen genom sundet. I nordligaste delen av Kalmar sund är strömmen nära fastlandet relativt vindberoende. Utanför tuben från massafabriken erhölls till stor del ström mot sydost och söder med relativt höga medelhastigheter medan vinden har ett stort inflytande på strömmen vid och innanför tuben.

Stående svängningar i Östersjön med perioden cirka 1 dygn dominerar under vissa perioder nettotransporten genom sundet.

Den tredimensionella numeriska modellen har applicerats på norra Kalmar sund. Med dess hjälp kan strömmen i hela området beräknas för olika representativa ström- och vindförhållanden. Spridningen av avloppsvattnet simuleras. Avloppsvattnet blandas relativt snabbt in på alla nivåer, eftersom vattnet i Kalmar sund oftast är välomblandat. Starka vindar medför att spridningen av avloppsvattnet blir mycket effektiv eftersom det då utsätts för varierande horisontella strömmar på olika djup.

Vid tillfällen med nordgående ström genom Kalmar sund förekommer ofta vind från sydväst och vid starka sydvästvindar fördelas avloppsvattnet ut i de centrala delarna av sundet. Vid svaga sydvästvindar förs avloppsvattnet norrut i centrala och östra delen av sundet. Ström mot söder förekom i samband med starka nordostvindar och starka västvindar. Nordostvindar ger en mycket snabb transport ner mot Skäggenäs, som tar drygt 2 dygn. Stark västvind för snabbt över avloppsvattnet mot Öland där det därefter relativt långsamt går söderut.

Under islagd tid är spridningen minimal. Avloppsvattnet förs söderut eller norrut i ett smalt stråk invid kusten.

Vattenutbytets betydelse för spridningen

Vid en sammanvägning av resultaten från spårämnesundersökningen och modellarbetena finner vi att spridningen av avloppsvattnet i närområdet styrs av vinden. Därefter tar den storskaliga strömningen över den fortsatta spridningen. Med hjälp av en snabb initialutspädning får avloppsvattnet snabbt nästan samma densitet som recipientvattnet. Undersökningen visar att inom ett närområde på 2 km^2 har avloppsvattnet hunnit spädas cirka 1 - 2 000 gånger.

Strömmen genom Kalmar sund har en normal varaktighet på 1/2 - 2 dygn innan den skiftar riktning. Längre perioder som sällan överstiger 5 dygn med nordlig eller sydlig ström kan förekomma.

Tidigare undersökningar visar att strömmen, sett under en längre period, är fördelad ungefär lika mellan syd- och nordgående ström. Sydgående ström förekommer cirka 60 procent av tiden och nordgående cirka 40 procent.

På grund av de snabba skiftena av strömriktningen blir avloppsvattnet kvar i norra Kalmar sund och transporteras fram och åter under ständig utspädning. Det lämnar Kalmarsund i ett välutspädd tillstånd. Vid extremsituationer då strömmen t ex är nordgående, 10 cm per sekund under 5 dygn eller mer, lämnar avloppsvattnet Kalmar sund och går ut i Östersjön.

2 INLEDNING

Inför en planerad utbyggnad av Mönsterås Bruks massafabrik önskar Södra Skogsägarna få belyst spridningen av avloppsvattnet ut i Kalmar sund.

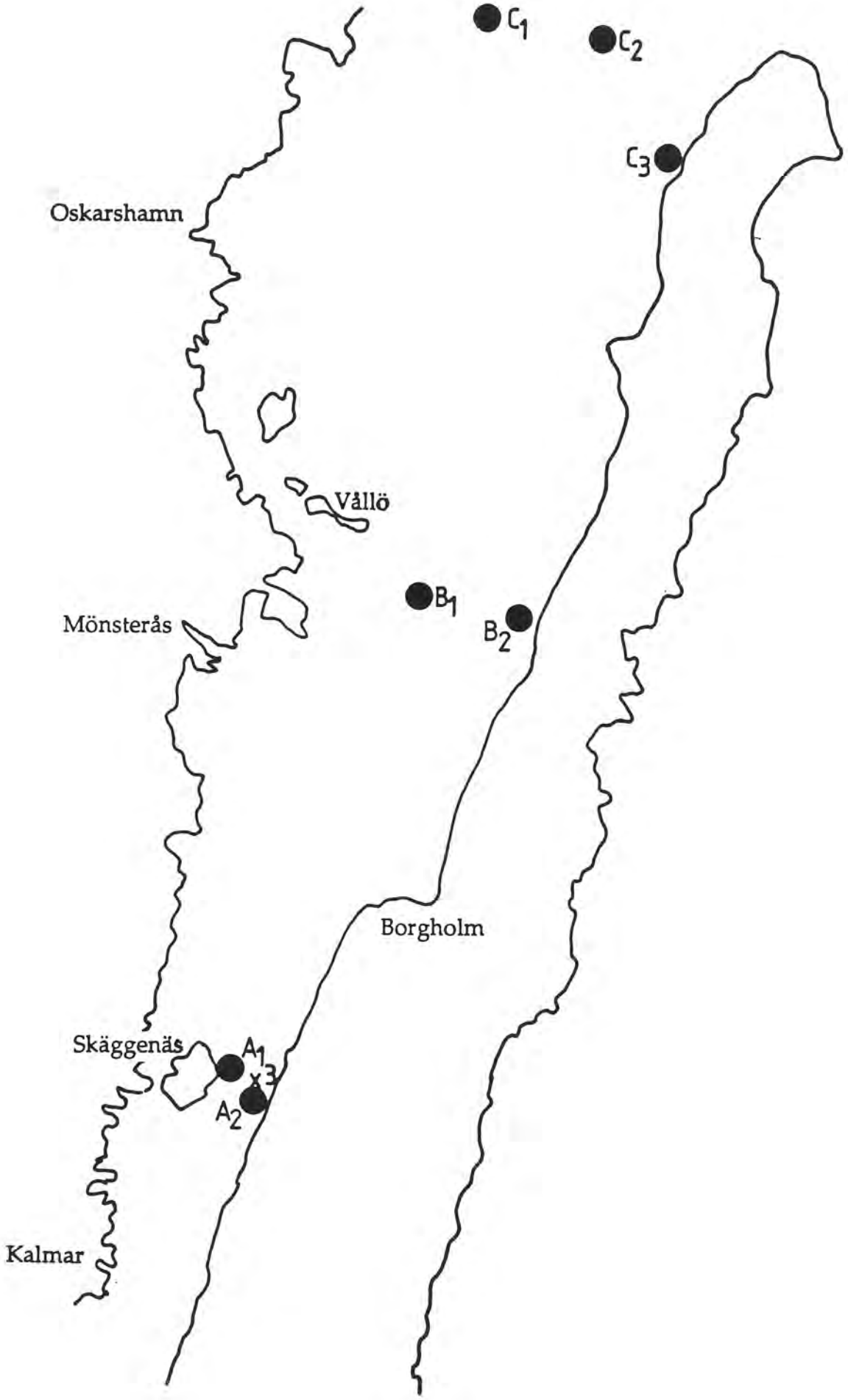
Med hjälp av strömmätningar och en numerisk modell applicerad på norra Kalmar sund kan den storskaliga spridningen via Kalmar sund och eventuellt vidare i Östersjön beskrivas. Spårämnesundersökningar har utförts för att ge en bild av spridningen inom närområdet

3 STRÖMMÄTNINGAR

För att driva och kalibrera den numeriska ström- och spridningsmodellen krävs data i form av strömvärden; riktning och hastighet. För detta syfte har strömmätningar med registrerande mätare genomförts i sju vertikaler i norra Kalmar sund.

På linjen Simpevarp - Byxelkrok har strömmätningar utförts i tre vertikaler. I höjd med Mönsterås Bruk har två stycken strömmätare varit utsatta, en på Ölands sida och en utanför Dämmans fyr. I söder har två strömsystem suttit i sundet mellan St Rör och Skäggenäs.

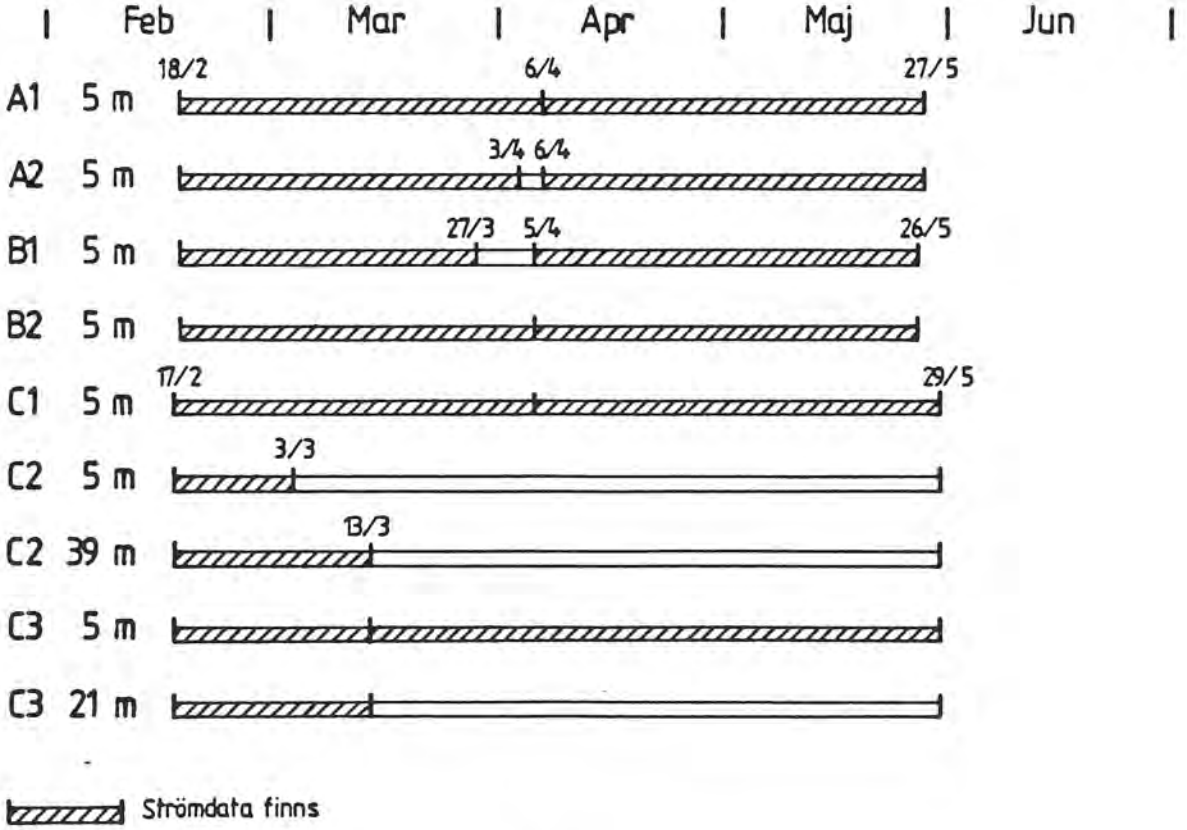
I det norra snittet har strömmen mätts i ytan (5 m) och nära bottnen i vertikalerna C2 och C3. I samtliga övriga vertikaler har en ytlig strömmätare mätt strömmens riktning och hastighet. Se figur 1.



Figur 1. Karta med lägen för strömmätning

Strömmätarnas funktion

Strömmätarna har fungerat bra under mätperioden 900218 - 900528. Se figur 2. Tyvärr har mätsystemet i vertikal C2 blivit påseglat vid två tillfällen. Vid första tillfället återfanns strömmätarna. Ett instrument drev iland på Öland vid Byxelkrok och det andra återfanns ett stycke från den rätta positionen. Nya instrument sattes ut 900313. De instrumenten återfanns aldrig vid avslutningen av uppdraget. Förhoppningsvis kan instrumenten dyka upp vid ett senare tillfälle. Det innebär att det endast finns cirka två veckors mätdata från vertikal C2. I vertikal C3 21 meter saknas strömdata från den andra mätperioden, ty mätaren gick ej att tömma på information.



Figur 2. Funktionsdiagram

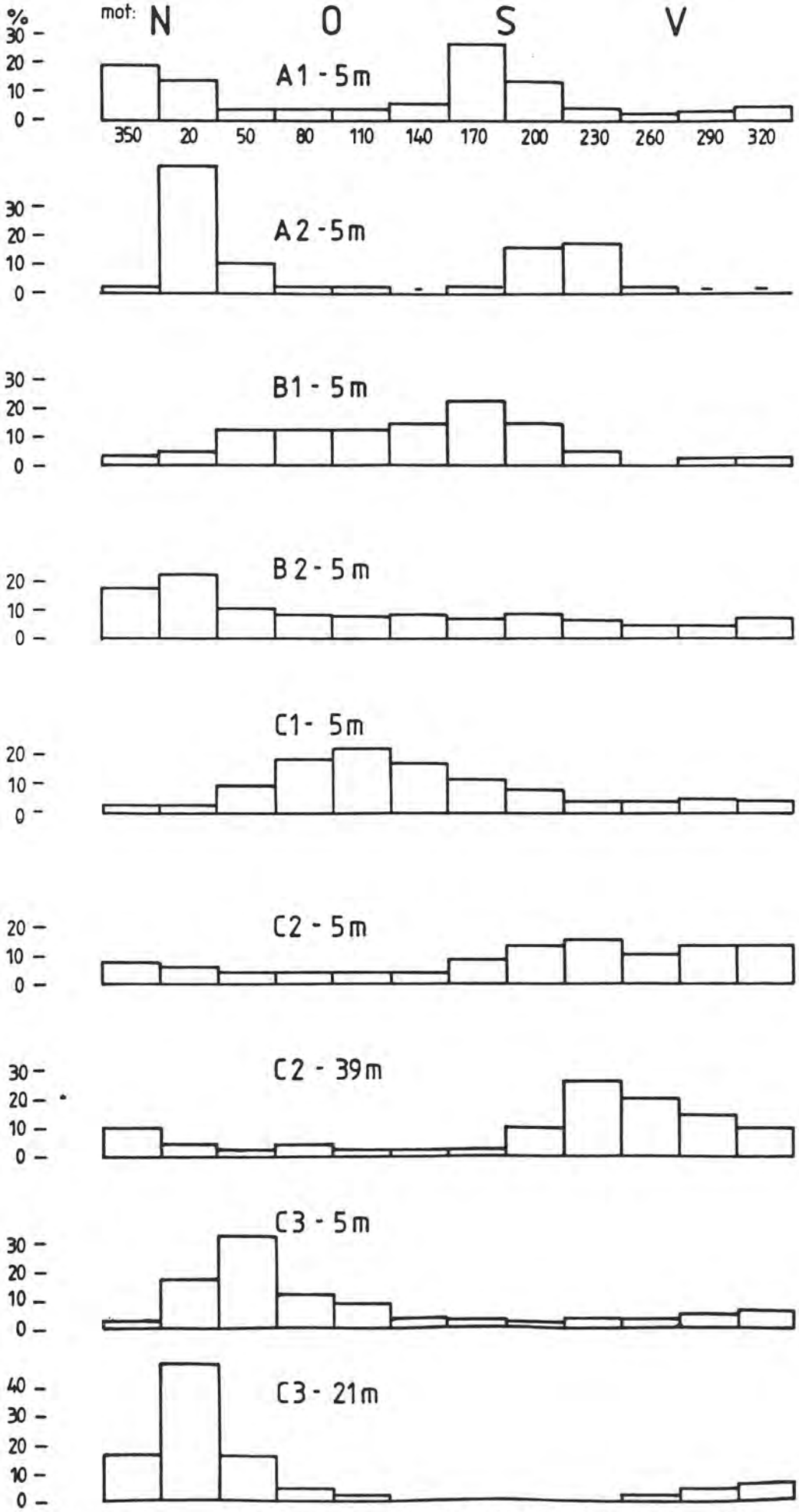
4 TEMPERATUR- OCH SALTHALTSFÖRHÅLLANDEN

Mätningar, utförda av Kalmar Högskola under februari - november 1989, visar att salthalten inte varierar i djupled. Även temperaturen är densamma i hela vattenmassan, utom under sommaren då ytvattnet kan erhålla något högre temperaturer. Salthalten varierar under året mellan 7.1 - 7.6 promille i Revsudden vid Skäggenäs.

5 BEARBETNINGAR AV STRÖMFÖRHÅLLANDENA I NORRA KALMAR SUND

Statistiska resultat

Strömstatistiken visar de oftast förekommande riktningarna, se figur 3. I A1 erhölls nord- och sydgående ström ungefär lika ofta och hastigheterna låg mellan 0 - 30 cm/s, medan nordgående ström förekom betydligt oftare än sydgående i A2. Hastigheterna låg mellan 0 - 50 cm/s. I mätpunkt B1, på 5 meters djup förekom övervägande ström med riktningar mellan nordost och syd samt hastigheter mellan 0 och 30 cm/s. För B2, 5 meter gäller att strömmen gick norrut hälften av tiden och riktningarna var spridda mellan ost-och sydgående ström vid de resterande tillfällena. Hastigheterna var relativt låga, 0 - 15 cm/s. I C1 på 5 meters djup var strömmen mestadels riktad mot ost och syd med hastigheter mellan 0 och 15 cm/s. I C2, 5 meters djup, var strömmen under 65 procent av tiden riktad mot söder-väster och hastigheterna var relativt låga. I C3 på 5 meters djup erhölls ström som nästan uteslutande gick mot nordost, hastigheterna låg mellan 0 och 20 cm/s. I C2 på 39 meters djup var strömmen riktad mot sydväst och i C3 på 21 meters djup, var den riktad mot norr under 80 procent av tiden.

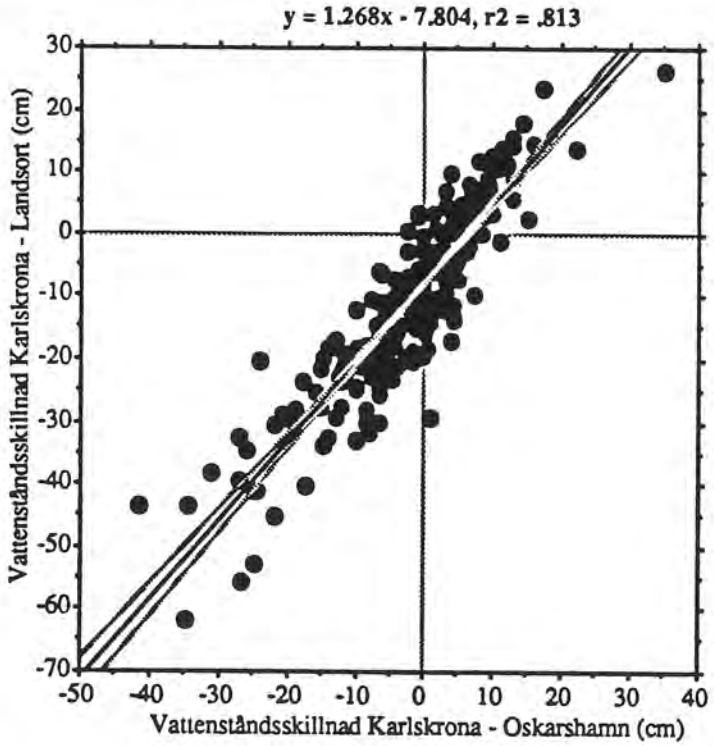


Figur 3. Strömmens riktningsfördelning i de olika mätpunkterna

Drivningsmekanismer

Vattenståndsskillnaden mellan Landsort och Karlskrona ger lutningen längs kusten. Lutningen styr i stor utsträckning den effektiva vattentransporten genom Kalmar sund.

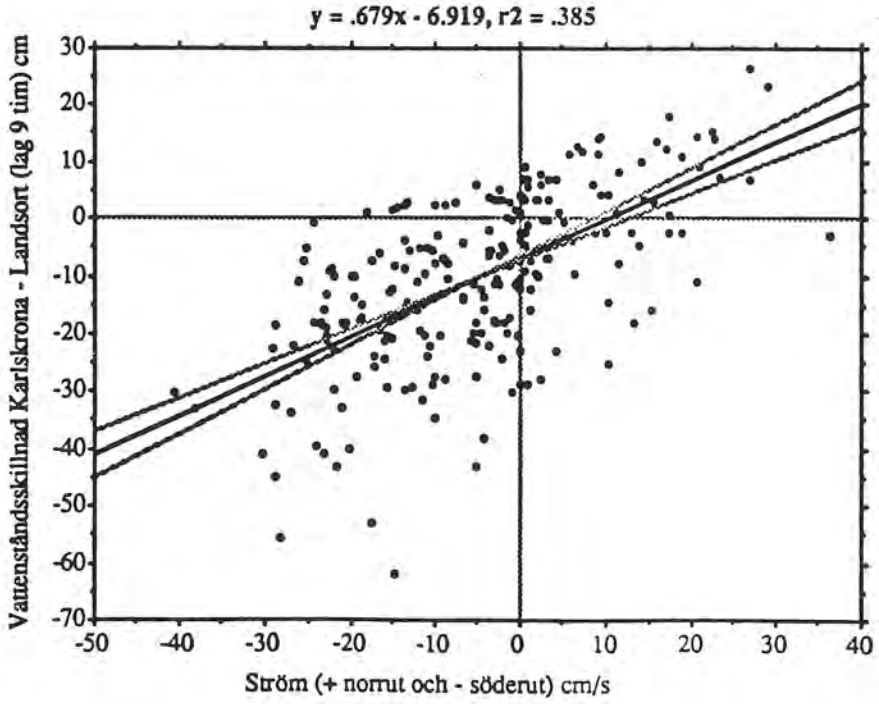
En jämförelse med den samtidiga vattenståndsdifferensen mellan Oskarshamn och Karlskrona visar att korrelationen mellan respektive vattenståndsskillnader är stor, se figur 4. Lutningen är storskalig och ingår i centrala Östersjöns dynamik.



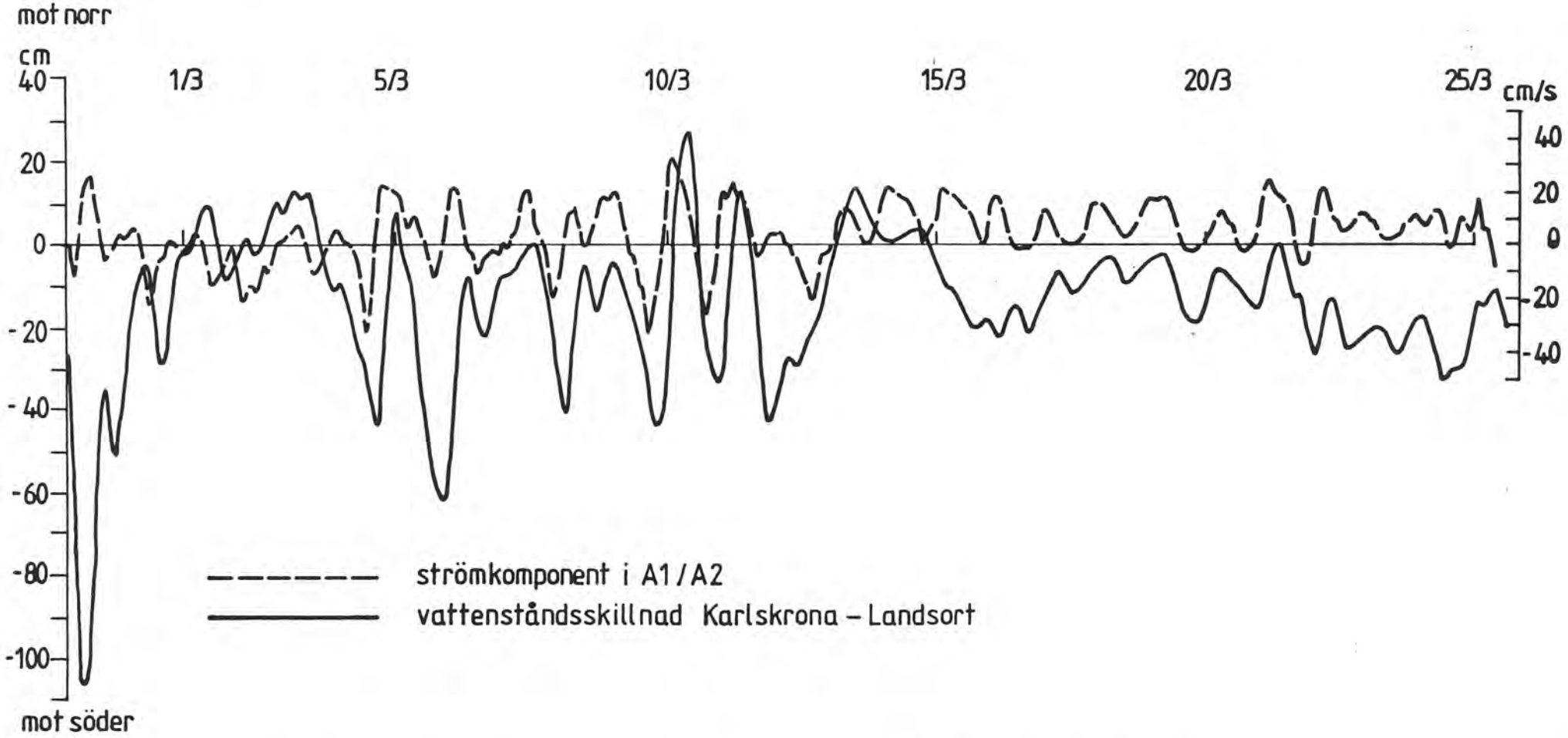
Figur 4. *Samband mellan vattenståndsskillnad Karlskrona/Oskarshamn och Karlskrona/Landsort*

Figur 5, på sidan 10, visar vattenytans lutning längs kusten jämförd med vattentransporten förbi Skäggenäs. Den valda perioden uppvisar ett tydligt samband mellan vattenståndsdifferens och strömning vid Skäggenäs.
Den 14 - 23 mars förekom en svängning som syns tydligt både i vattenstånd och strömdata. Svängningsperioden är mellan 23 och 24 timmar och stämmer mycket väl med tidigare observationer, ref (1). Svängningen utgörs av en stående våg i egentliga Östersjön som kan bildas vid ändringar i vind och lufttryck. Vågen har högt vattenstånd i ena änden av en bassäng, samtidigt som den har ett minimum i den andra änden och en nod i mitten, där nivån är konstant. Vågen svänger sedan en tid tills friktionen tagit all dess energi.

I figur 6 är strömmen genom sundet vid Skäggenäs avsatt på x-axeln och vattenytans lutning på y-axeln. Strömmen norrut sammanfaller oftast med högre vattenstånd i Karlskrona. Sydgående ström är så gott som alltid kopplad till högre vattenstånd i Landsort. Korrelationsberäkningar utförda för de båda serierna för perioden 1 mars - 3 april ger k = 0.39, vilket är ett lågt värde men det visar på ett visst samband. En tidsförskjutning har gjorts, så att vattenståndet är några timmar före strömmen.

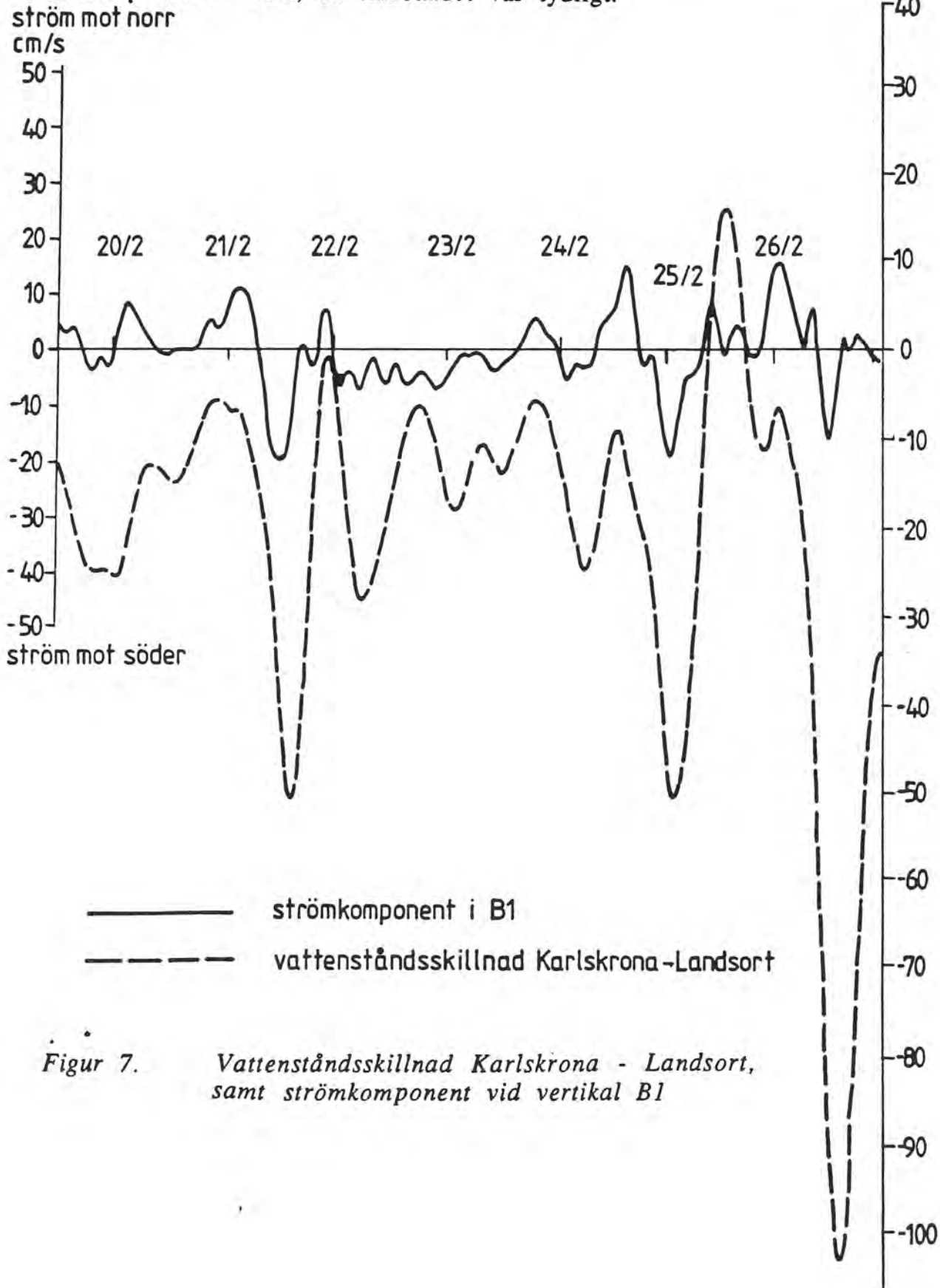


Figur 6. *Ström genom A1/A2 och vattenståndsskillnad mellan Karlskrona och Landsort*



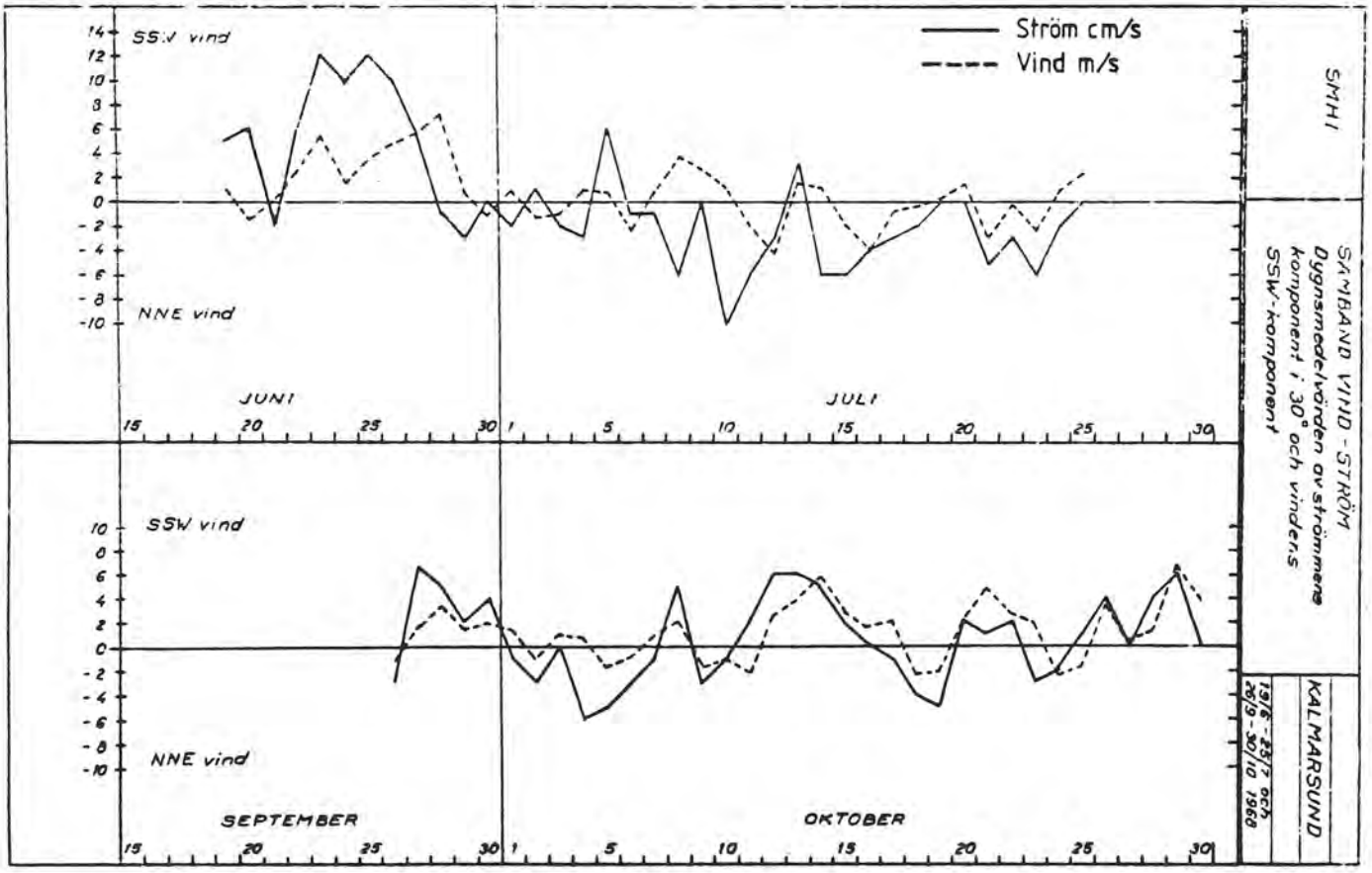
Figur 5. *Vattenståndsskillnad Karlskrona - Landsort, samt ström förbi Skäggenäs*

I figur 7 är strömmen i vertikal B1 ritad tillsammans med vattenytans lutning. En period är vald, då sambandet var tydligt.



Figur 7. Vattenståndsskillnad Karlskrona - Landsort, samt strömkomponent vid vertikal B1

Under 1968 utfördes strömmätningar i en punkt i sundet vid Skäggenäs i samband med ett uppdrag åt Länsstyrelsen i Kalmar län, se ref (2). Mätpunkten, benämnd 3, är markerad på kartan i figur 1, och mätningen utfördes på 6 meters djup. För perioden 26 september - 30 oktober 1968 har korrelationsberäkningar utförts mellan strömkomponentens dygnsmedelvärden och vindens SSW/NNE komponenter. Vinden är från Kalmar flygplats. Korrelationskoefficienten blir 0.48, vilket visar på ett visst samband, se figur 8.



Figur 8. *Samband mellan vind och strömkomponent (dygnsmedelvärden) i punkt 3, 20 juni - 25 juli och 26 september - 30 oktober 1968*

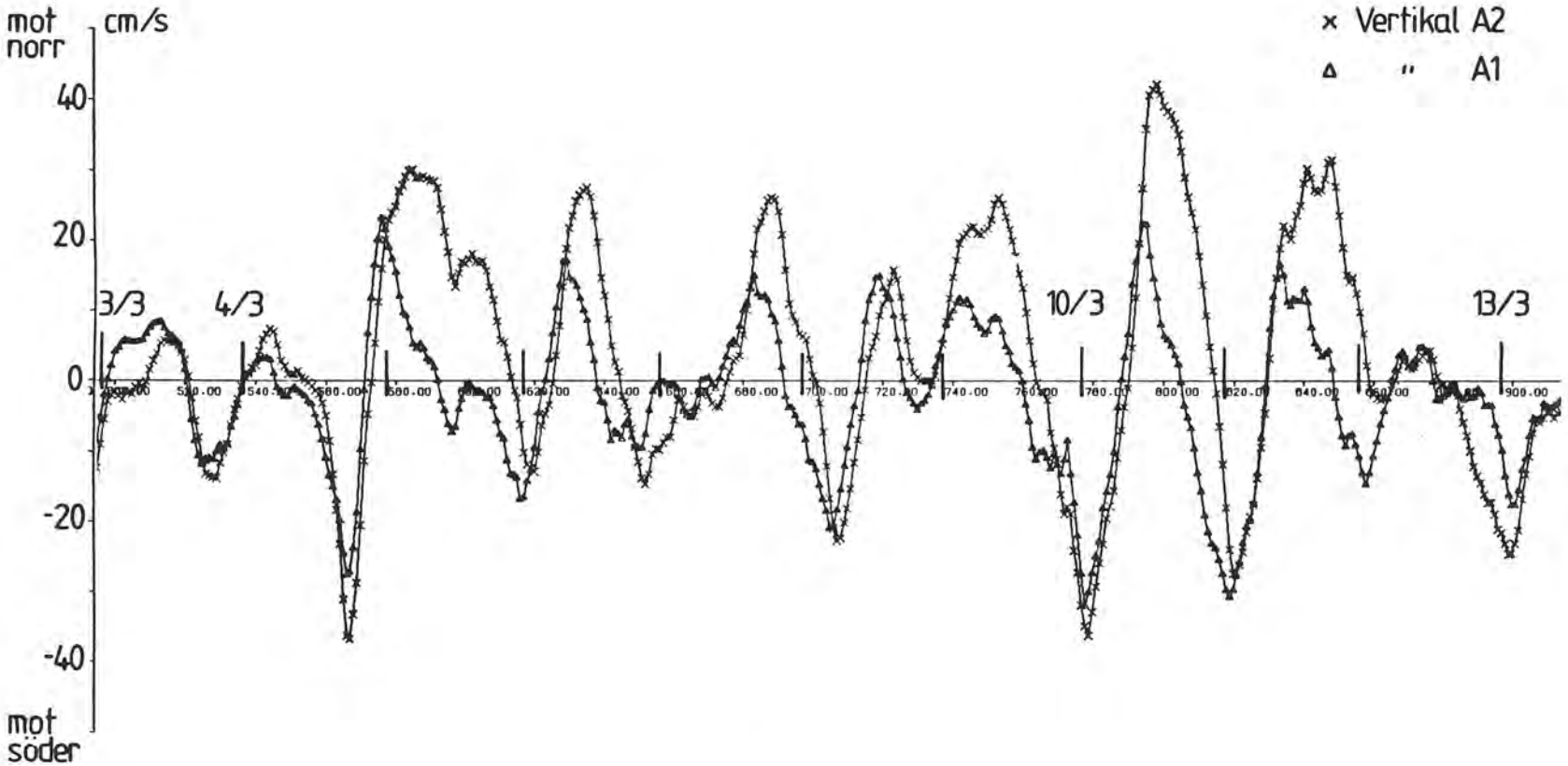
Allmänna strömförhållanden

Studier av samspelet mellan strömmarna visar att A1 och A2 följer varandra, dock med en viss fasförskjutning. Båda visar oftast sydgående respektive nordgående ström samtidigt. A2 har en viss tendens till att behålla sin nordgående riktning ett par timmar längre och har något högre hastighet än A1, vilket syns tydligt i figur 9, sidan 14. Markant är att vid nordgående ström så är hastigheterna i A2 betydligt högre än i A1. En samvariation finns även mellan B1 och A1/A2, medan B2 så gott som alltid har nordgående ström oavsett vad som gäller för B1. Beträffande C1, C2 och C3 på 5 meters djup så finns det inget samband mellan dessa ty C1 går alltid österut och C3 går alltid norrut medan C2 är riktad mot söder-väster och uppvisar delvis samma rörelser som strömmen i A1/A2. Vertikal C2, 5 m och 39 m, samvarierar ej, vilket kan bero på att C2 är vindpåverkad, vilket inte syns på större djup. Båda har dock övervägande sydvästgående ström. I vertikal C3, 5 m och 21 m, följs strömmen åt väl. Det beror troligen på att strömmen här drivs av andra krafter än vinden och därför har den samma riktning från ytan till bottnen.

Typiska strömningsmönster

Utifrån strömmätningarna har cirkulationsmönster i norra Kalmar sund kunnat tas fram. Typiska situationer har då valts vid Skäggenäs, såsom renodlat sydgående respektive renodlat nordgående ström. Informationen i dessa strömningsbilder får sedan utgöra underlag för och verifiering av de datorsimulerade beräkningarna. Vindarna vid dessa tillfällen används vid simulering av strömningsmönster.

Vid situationer med nordgående nettoström genom Kalmar sund är strömhastigheten vid Skäggenäs 5 - 40 cm/s. Detta får driva den numeriska modellen. Alla dessa tillfällen är studerade i detalj. Samtidigt med nordgående grundström varierar strömmen i B1 ganska mycket; mot nordost - syd, 5 - 10 cm/s. I B2 erhölls oftast nordgående ström 5 - 10 cm/s och ström mot sydost vid några tillfällen. I C1 varierade strömriktningen mellan nord - ost - syd, 5 - 10 cm/s. I C2 varierade riktningarna (dataåterbäringen här är begränsad). I C3 var strömmen nordgående och cirka 10 cm/s. Vindarna vid de betraktade tillfällena var oftast från sydväst med varierande hastigheter.



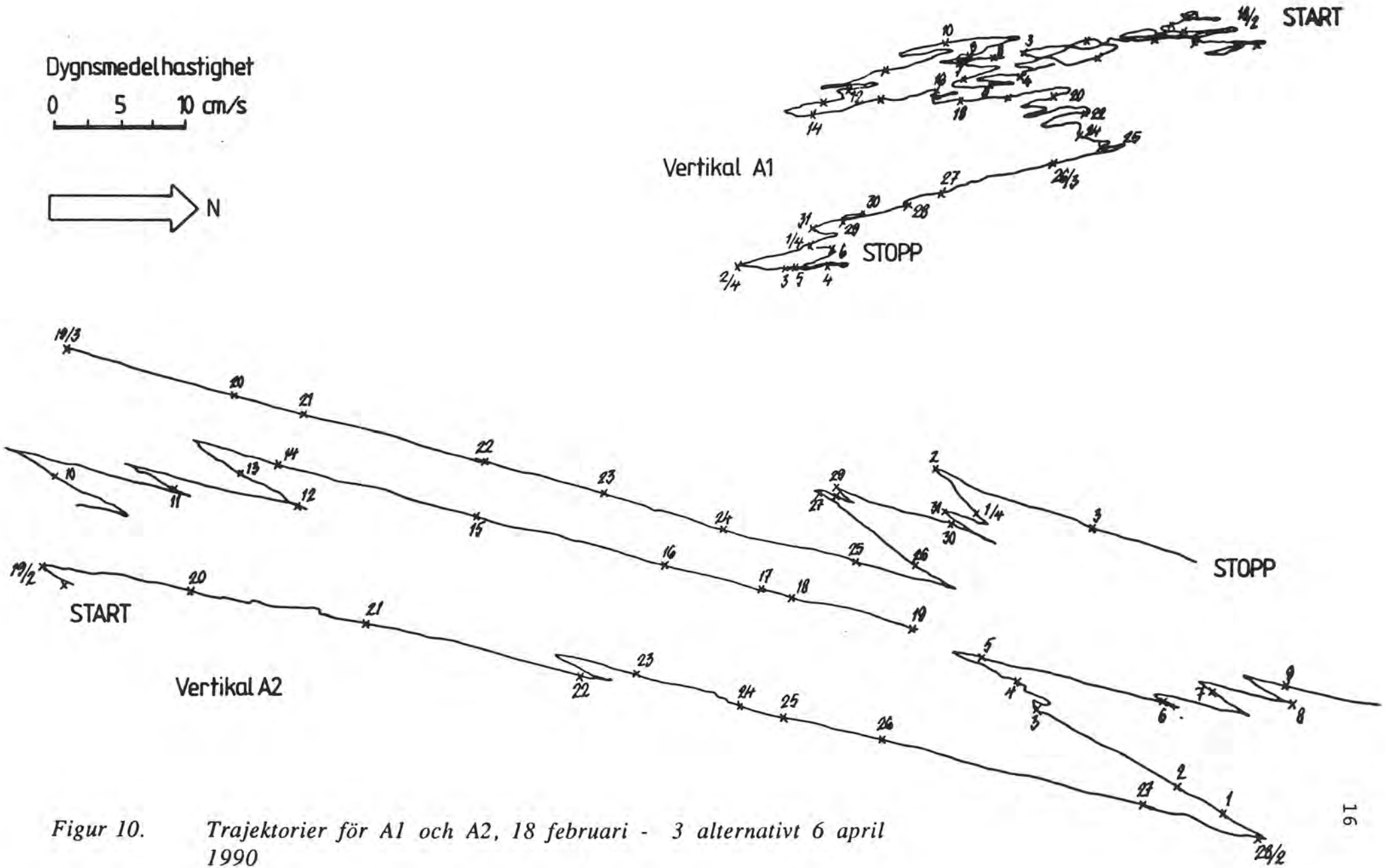
Figur 9. Strömkomponenter i vertikal A1 och A2, 3 - 13 mars 1990

Vid situationer med sydgående nettoström har också alla tillfällen under mätperioden studerats. Strömmen vid Skäggenäs var sydgående 10 - 30 cm/s. I B1 erhölls sydgående ström vid alla tillfällena, varför denna ström får betraktas som mycket typisk här vid de aktuella förhållandena. I B2 erhölls oftast nordgående ström, cirka 5 cm/s, men även sydgående och varierande ström förekom. I C1 var riktningarna varierande och i C3 var strömmen huvudsakligen riktad mot norr, cirka 5 cm/s. Vindarna som rådde vid tillfällen med sydgående nettoström var oftast starka västvindar och starka nordostvindar.

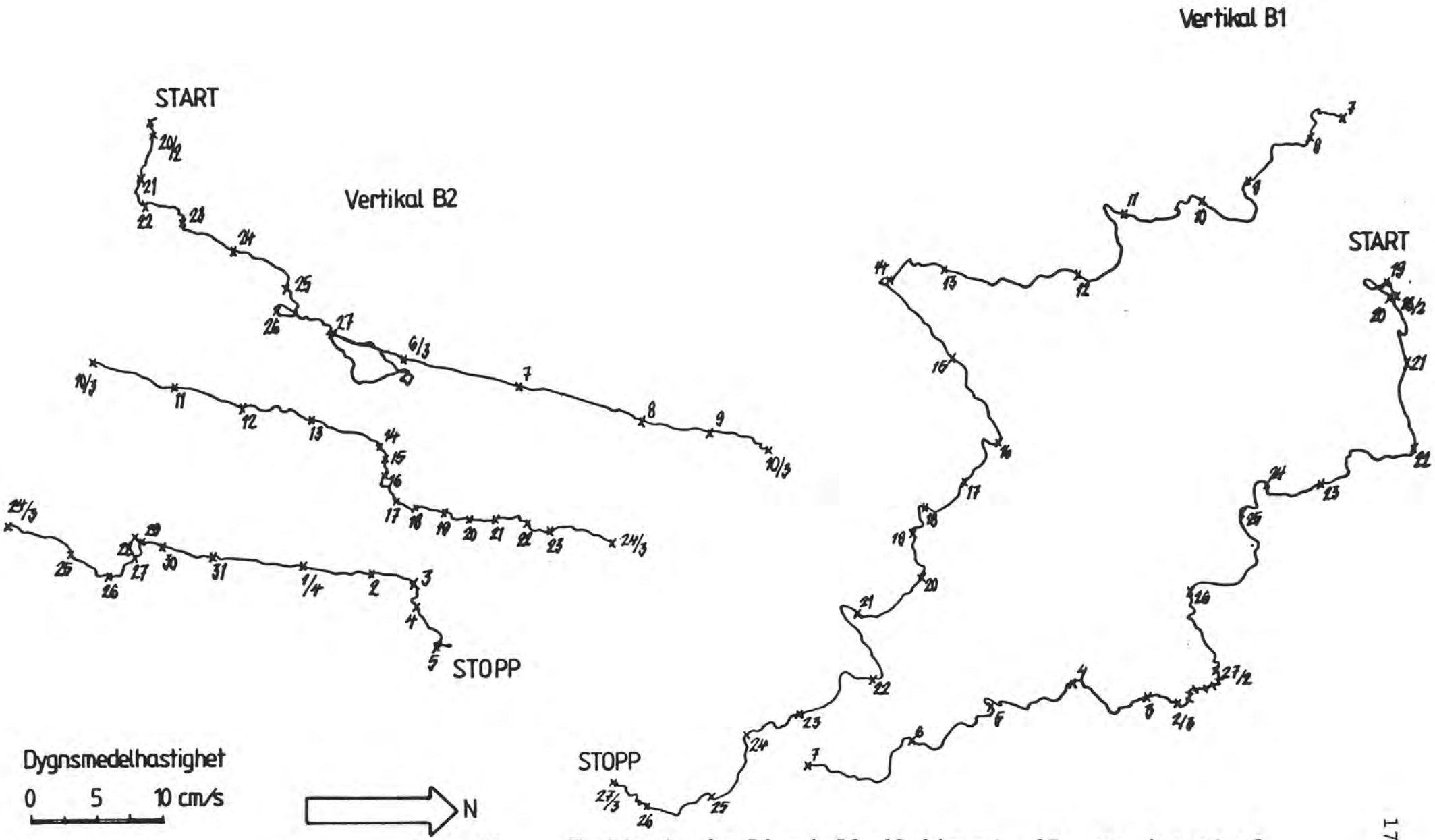
Strömtrajektorier

Strömmen i A1, A2, B1 och B2 har för varje registrering ritats med sin verkliga riktning och hastighet. Varje strömvektor ritas således och vid dess spets börjar nästa. Detta ger tidsutvecklingen av strömmen i mätpunkterna. Figur 10 visar att strömmen i A1 har ett mycket varierande förlopp. Den byter ofta riktning. Strömmen i A2 bibehåller samma riktning under längre tidsperioder och går mestadels norrut med höga hastigheter. Strömmen i mätpunkterna samvarierar med ett komplicerat samspel, som ej syns i trajektorierna.

I figur 11 erhölls i B1 en huvudriktning mot sydost under hela mätperioden. Denna mätpunkt är belägen strax utanför tuben och beskriver därför strömningen vid tuben väl. I B2 som ligger nära Öland, har strömmen mestadels en nordgående riktning med oftast ganska låga hastigheter.



Figur 10. *Trajektorier för A1 och A2, 18 februari - 3 alternativt 6 april 1990*



Figur 11. *Trajektorier för B1 och B2, 18 februari - 27 mars alternativt 5 april 1990*

6 RESULTAT AV STRÖMBEARBETNINGAR

Vattnet i Kalmar sund är homogent, en svag temperaturskiktning kan förekomma sommartid.

Bearbetningarna av strömmätningarna ger information om strömningsmönster och typiska strömmar i de olika punkterna. Strömmen utgör drivningen och verifieringen av den numeriska modellen.

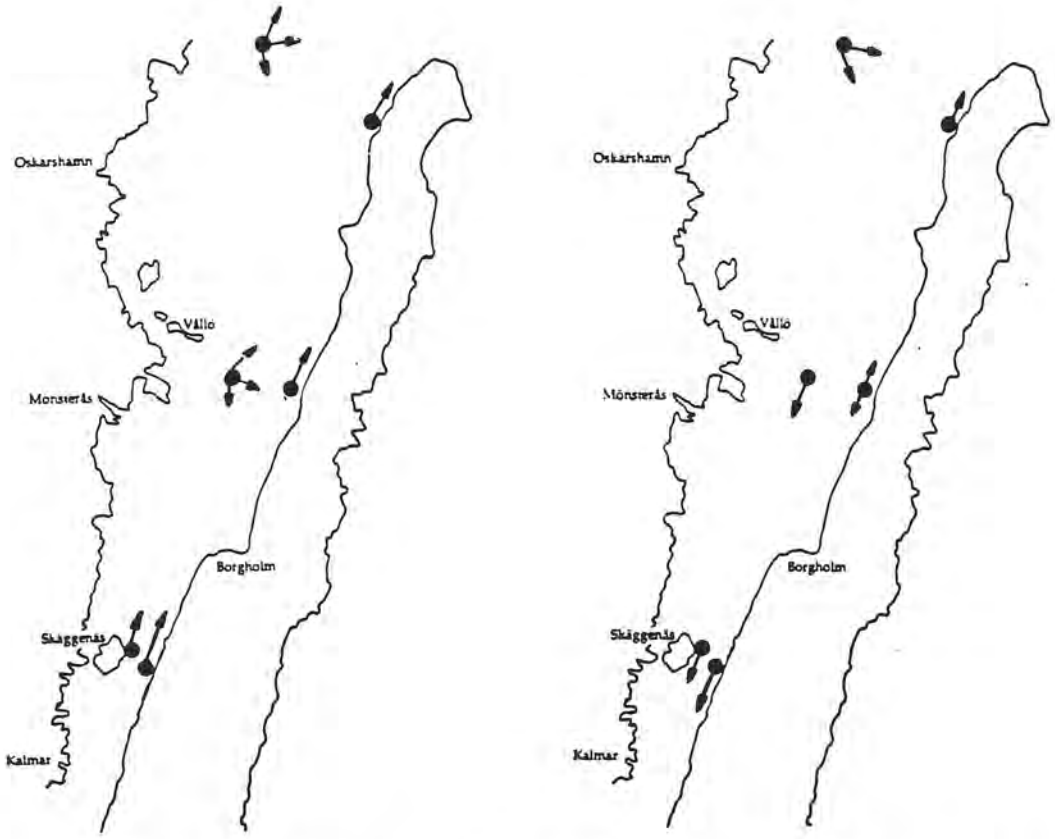
Ett generellt strömningsmönster som förekommer i hela den studerade delen av Kalmar sund är sydgående på västra sidan och nordgående på den östra. Detta framgår av alla tre mätsnitten. Strömmen på östra sidan är ganska ihärdig och vänder främst när storskaliga vattenståndssvängningar på 23 - 24 timmar äger rum i Östersjöbäckenet.

Svängningarna märks inte i B-snittet, men syns mycket tydligt vid Skäggenäs och i vattenståndsinformation från Landsort, Oskarshamn och Karlskrona. I skärgårdsområdet nära tuben var strömmen till stor del riktad mot sydost.

I C-snittet erhölls mycket varierande strömmar på västra sidan och i centrala delen av sundet. Strömmarna är här vinddrivna nära kusten, vilket tidigare visats i samband med mätningar vid Oskarshamns kärnkraftverk.

Strömmen drivs av såväl vind som vattenytans lutning längs kusten. Vissa perioder dominerar den ena av dessa båda mekanismer och under andra perioder den andra. Det är ett komplicerat samspel mellan dem som troligen kan lösas upp med statistiska modeller. Det finns således inget enkelt samband med vars hjälp man kan beskriva strömmen och därigenom dra slutsatser för längre tidsperioder. Det framgår tydligt av olika tidsserier hur strömmen samvarierar med ibland den ena och vid andra tillfällen den andra drivande mekanismen. Korrelationskoefficienten mellan vattenytans lutning och vattentransporter förbi Skäggenäs var 0.39 för 3-timmarsmedelvärden och mellan vindens SSW-komponent och strömmen i östra delen av sundet så erhölls korrelationen 0.48 för dygnsmedelvärden. Det var inte samma perioder som studerades.

Nettoströmmen genom norra Kalmar sund beskrivs av huvudriktningen i det avsmalnande sundet vid Skäggenäs. Vid nordgående nettoström varierade strömmen på västra sidan i norra Kalmar sund medan den var nordgående på den östra sidan. Vid sydgående nettoström var strömmen sydgående utanför Mönsterås och varierade längre norrut invid fastlandet. Mot Ölandssidan var strömmen vid dessa tillfällen oftare nordgående än sydgående. Se figur 12.



Figur 12. Typiska strömmar vid nordgående och sydgående nettoström

7 BERÄKNING AV INITIALUTSPÄDNING

Det är väsentligt att erhålla korrekta koncentrationer hos avloppsvattnet när spridningsberäkningarna initialiseras. Därför har VBB fått i uppdrag att utföra initialutspädningsberäkningar invid tuben. Man har därvid utgått från nuvarande utsläppsförhållanden och tuben har behandlats i tre olika delar; ändhålet, yttersta delen och mellersta delen. Utspädningen invid tuben har även beräknats med de planerade, utökade utsläppsmängderna.

Vid nuvarande förhållanden kommer 49 000 m^3/dygn ut ur tuben och vid de planerade kommer 90 000 m^3/dygn. Aktuella dimensioner har erhållits från Mönsterås Bruk. Salthalten hos det utsläppta avloppsvattnet ligger mellan 0 - 1 promille. Det kan i förhållande till Kalmar sunds vatten betraktas som sötvatten. Avloppsvattnet har alltid lägre densitet än omgivande vatten varför det snabbt stiger upp till ytan samtidigt som utspädning sker. Recipienten betraktas som homogen under hela året.

För ändhålet i utsläppsledningen gäller att 18 procent av avloppsvattnet kommer ut här. Vattnet stiger snett uppåt ty öppningen är utformad så. Den horisontella utbredningen blir cirka 4 meter i ytan. I ytan erhölls därvid i medeltal 30 gångers utspädning.

För de yttersta delen av ledningen gäller att 35 procent av avloppsvattnet kommer ut här. Vattnet stiger nästan rakt upp och bredden i ytan är cirka 3 meter. Medelutspädningen blir 220 gånger ursprungskoncentrationen.

Den mellersta delen av utsläppsledningen ger resterande 47 procent av flödet. Bredden i ytan blir 3 meter och utspädningen blir här 150 gånger i medeltal.

Efter den primära utspädningsfasen som beskrivits ovan, och som styrs av utsläppskonstruktion och densitetsförhållandena sker en gravitationell spridning på grund av densitetsunderskottet. Externa krafter som vind, turbulens och strömmar kommer också in och förstärker inblandningen.

Ett medelvärde av initialutspädningen i ytan sätts till 100 gånger. Utsträckningen tvärs tuben är cirka 4 meter och djupet sätts till 6 meter, avsatt från ytan och nedåt. Den volym som modellen startas med ges en utsträckning tvärs tuben på 15 meter och 6 meters djuputbredning. Under förutsättning att initialvolymen ovanför dysorna täcker i genomsnitt halva vattenvolymen erhålls snabbt en utspädning som är 200 gånger. Antagandet baserar sig på att dysorna sitter så glest att det blir ett visst avstånd mellan deras plymer. Längden på utsläppet utefter tuben sätts till 1 500 meter.

I simuleringen släpps en partikel varje timme från den tillämpade initialvolymen med 200 gånger spädning. Varje partikel motsvarar då en avloppsmängd som är 2 000 m^3.

8 SPÅRÄMNESUNDERSÖKNING

Metodik

Vid studier av spridning och utspädning av avloppsvatten använder SMHI vanligtvis färgämnet rodamin B. Färgämnet är löst i ättiksyra till 40 procentig lösning vars densitet är direkt jämförbar med vatten. Lösningen kan därefter spädas med metanol till önskad utgångskoncentration, med i stort sett bibehållen densitet. Färgämnet är därför mycket lämpligt att märka avloppsvatten med.

Rodamin B är ett mycket starkt färgämne som är synligt även när utspädningen är mycket stor. Om man tillsätter en halv milliliter 40 procentig rodaminlösning till en 50 meters bassäng (50 x 10 x 2 m = 1 000 m^3 = 1 x 10^6 liter) ger denna koncentration (2 x 10^{-10} kg/liter) utslag på fluorometern. Möjligheten att mäta låga koncentrationer beror på rodaminets fluorescerande egenskaper. När det belyses med ljus av viss färg (i fluorometern) lyser ämnet i en annan färg, med en ljusstyrka som är beroende av ämnets koncentration.

Med hjälp av spårämnet kan man därför märka ett avloppsvatten och följa dess spridning och utspädning från utsläppspunkten.

Spårämnet har i denna undersökning doserats kontinuerligt till avloppsvattnet. Avsikten var att ge en bild av hur avloppsvattnet fördelar sig i utsläppsområdet samt att ange hur effektiv utspädningen är i närområdet.

Spädning och dosering

Från en doseringstank pumpades spårämnet med ett bestämt flöde och koncentration in i avloppstuben.

Doseringskoncentrationen erhölls genom att blanda 60 kg 40 procentig rodamin B, 60 liter metanol och 480 liter rent vatten. Doseringskoncentrationen blir då 4 x 10^{-2} kg/liter.

I avloppstuben pumpas cirka 600 liter/sekund avloppsvatten ut i Kalmar sund. Från doseringstanken pumpades 6 liter/timme ner i avloppstuben, vilket ger en startkoncentration på 1 x 10^{-7} gram/liter. Beroende på bakgrundsvattnets egen fluorescens kan utspädningar på cirka 8 000 gånger spåras.

Utförande

Doseringen startades på måndagen den 14 maj. Efter ett och halvt dygns kontinuerlig dosering genomfördes första kartläggningen. Vattenprover togs i ett antal förutbestämda punkter i området utanför avloppstubens mynning. Proverna analyserades därefter i direkt anslutning till provtagningen. Med hjälp av en fluorometer mättes vattenprovets fluorescens. Vid sex tillfällen utfördes detta mätprogram. Ström, temperatur och salthaltsmätningar utfördes parallellt.

Med hjälp av ett antal kända spädningar av doseringsvätskan skapades ett kalibreringssamband mellan avläst värde och utspädningsgraden.

Resultat

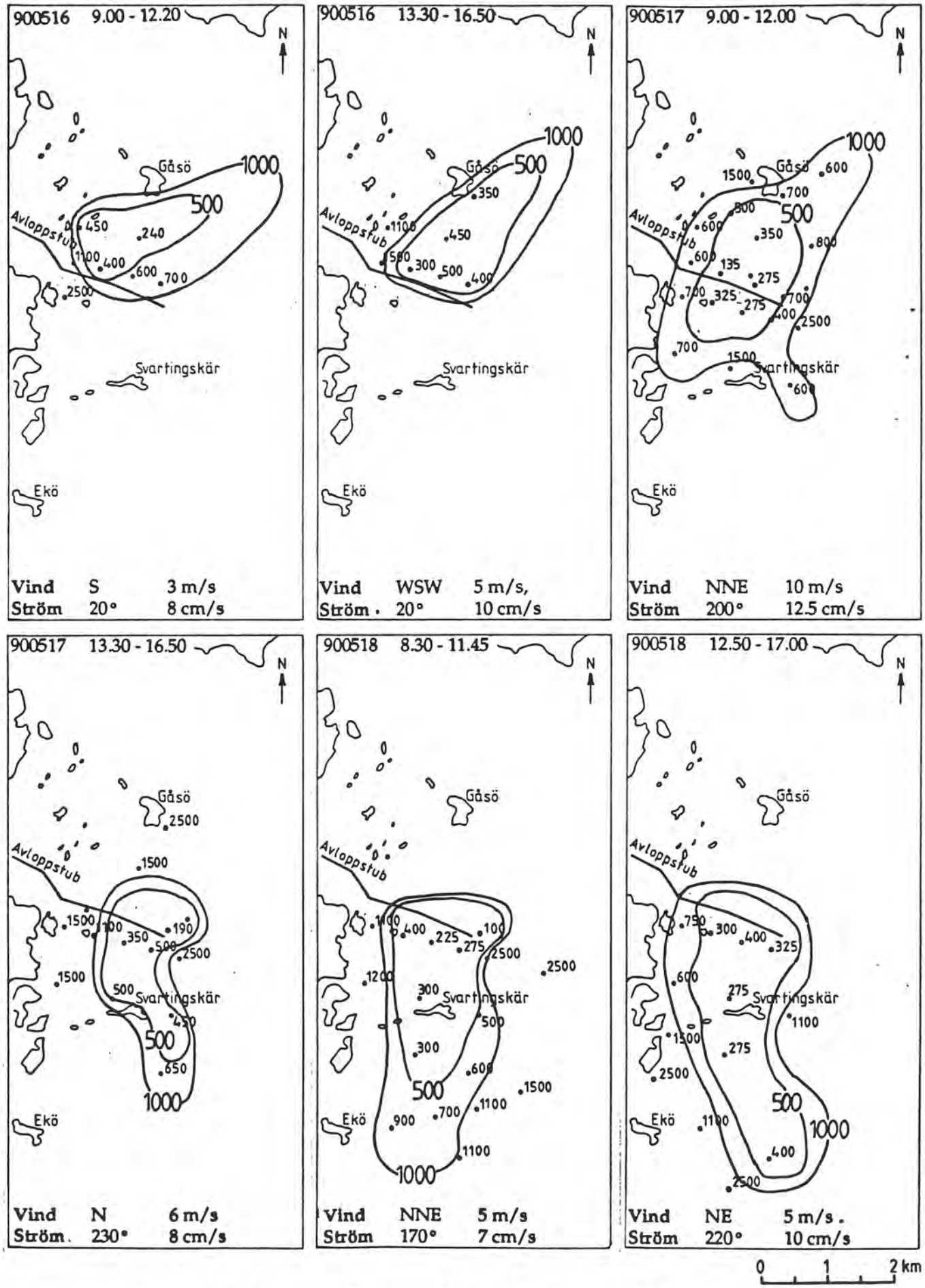
Mätningarna av salthalt och vattentemperatur visar att vattnet i Kalmar sund under mätperioden i det närmaste var homogent. Det vill säga det förekom inga täthetsskillnader mellan ytvattnet och bottenvattnet. Vattentemperaturen i ytan uppmättes till 10 - 11 °C under hela mätperioden. Vattentemperaturen vid bottnen var cirka 0.5 °C lägre. Salthalten var densamma från ytan till bottnen, 7.1 promille.

Utspädningen av avloppsvattnet skedde under mätperioden i hela vattenmassan. Skillnader i koncentrationer på avloppsvattnet mellan ytan och botten förekom endast intill avloppstuben och i plymens ytterkanter där opåverkat vatten förts in över avloppsvattnet. Det innebär att utspädningen i närområdet blir effektiv då hela vattenmassan nyttjas för spädningen.

I figur 13 kan man följa avloppsvattnets spridningsbild under de tre dagar som provtagningen pågick. Strömmen i skärgårdsområdet kring avloppstubens mynning är vinddriven. Det innebär att strömmen följer vindriktningen. Vid sydlig vind är strömmen nordgående och vid nordlig vind sydgående.

Ur figuren framgår att vid de två första kartläggningarna var avloppsplymens utbredning nordostlig. Under natten mellan den 16 och 17 maj vred vinden från syd till nord och var sedan nordlig vid de fyra sista kartläggningarna. Från ett mellanläge där avloppsvattnet kan spåras både nord och syd om avloppstuben ställer plymen in sig efter strömmen till en rent sydlig utbredning. Vid det sista mättillfället var ytan för 1 000 gångers utspädning cirka 2 km^2.

SMHI Utspädning och spridning av avloppsvattnet.
Siffrorna i figurerna anger antal gånger som avloppsvattnet spätts.



Figur 13. Spårämnesundersökning med rodamin B

9 MODELLSIMULERINGAR

Beskrivning av modellberäkningarna

För att kunna studera spridningen av avloppsvattnet i norra Kalmar sund har en numerisk datormodell applicerats på området för att simulera olika cirkulationsmönster. En tredimensionell modell tillämpas. Modellen benämns PHOENICS och är utvecklad vid CHAM i England. PHOENICS fungerar som en ekvationslösare för de hydrodynamiska momentum- och kontinuitetsekvationerna. Därefter har en utsläppskälla lagts in vid tuben från Mönsterås Bruk och spridningen under en längre tidsperiod har beräknats. Härvid används en spridningsmodell utvecklad vid SMHI:s forskningsenhet.

Den numeriska modellen har satts upp på havsområdet mellan Skäggenäs och Ölands nordspets. Beräkningsrutorna har lagts mycket tätt vid utsläppsområdet för att erhålla en god strömningsbeskrivning. Sundet innanför Vållö har även fått en hög noggrannhet. Hela området består av 18 x 54 rutor och 8 olika lager, se figur 14. Eftersom vattenmassan är homogen sker en effektiv vertikal blandning och ett utsläpp sprids snabbt genom att det påverkas av olika horisontella hastigheter beroende på vilken nivå det i varje ögonblick befinner sig. Lagren varierar i tjocklek eftersom djupet varierar och gränsytorna följer djupkonturen.

Djupen är inritade i figur 14. Det horisontella nätet är optimerat genom att rutorna följer kustlinjen. Rutorna har alltså inte vinkelräta hörn utan istället används "body fitted coordinates". Modellen ska i första hand ge information om den storskaliga spridningen, men den har gjorts extra omfattande för att även kunna beskriva förhållandena i närområdet.

Representativa strömningsmönster som är baserade på mätresultaten och vindförhållandena har beräknats. Tre typiska nordgående situationer har skapats med vindstilla (islagd tid), sydvästvind 5 m/s samt sydvästvind 15 m/s. De typiska sydgående strömningsbilderna utgår från vindstilla, nordostlig vind 10 m/s samt västlig vind 10 m/s. Strömfälten ger de horisontella och vertikala strömmarna, turbulens och dissipation i varje gridpunkt för sex olika strömsituationer.

En källa för avloppsvattnet läggs därefter in i beräkningsnätet. Källan har givits ett initialläge mellan ytan och ner till 6 meter, bottendjupet här är cirka 10 meter. Den horisontella utsträckningen är 15 meter tvärs tuben och längden utefter tuben är satt till 1 500 meter. Det ger initialvolymen 13 500 m^3.

Källan beskrivs av 576 partiklar, som släpps kontinuerligt med 1 partikel per timme under 24 dygn för vart och ett av de sex strömningsmönstren. I några av fallen gjordes beräkningar för 16 eller 20 dygn. Det innebär att tidsutvecklingen beräknats var 10:e sekund, där varje partikel utsätts för olika yttre krafter beroende på vilken ruta den befinner sig i. Varje partikel motsvarar vid nuvarande utsläpp 2000 m^3 och vid det planerade motsvarar den 4000 m^3. Partiklarnas rörelser utgår från Markovkedjor, så att den aktuella förflyttningen är delvis kopplad till förloppet i föregående tidssteg.

Resultat från modellsimuleringarna samt verifiering

Nordgående ström, vindstilla

Strömfältet som skapas av vindstilla och nordgående nettoström finns i figur 15 a. Dels är det hela fältet, dels ett utsnitt i närområdet. Utsläppsläget vid tuben är markerat med stjärnor. Simuleringen visar att strömmen som kommer söderifrån förs över till östra sidan strax söder om utsläppsområdet. En del av vattenflödet bildar ett virvelsystem och vid tuben sker en västgående transport, som fortsätter norrut genom att gå väster om Vållö. En mindre del kan gå öster om Vållö, men det skedde inte i det här exemplet. Beräkningen ger en bild av ett möjligt strömningsläge. Strömmarna hade samma riktning från ytan till bottnen och minskande hastigheter med ökande djup. Figur 15 b visar koncentrationen efter 24 dygn, samt banorna för 10 av partiklarna, för att man ska kunna se i vilka områden som avloppsvattnet befunnit sig. Avloppsvattnet kommer inte så långt norrut på 24 dygn, ty strömhastigheterna är låga, omkring 5 cm/s norr om Mönsterås. Partiklarna ligger helt nära den västra kusten hela tiden. Därefter sker en uttransport på östra sidan av sundet. Det innebär att när Kalmar sund är istäckt och strömmen nordgående så finns en stor del av avloppsvattnet i ett smalt stråk intill fastlandet.

Verifiering

Simuleringen gäller för vindstilla, d v s islagd tid, vilket inte förekom under mätperioden.

Nordgående ström, sydvästlig vind 5 m/s

För nordgående ström och sydvästlig vind, 5 m/s, erhålls ett helt annat strömningsmönster, se figur 16 a. Hastighetsskalan i utsnittet är ej densamma som i figur 15 a. Nu driver vinden ytströmmen not nordost och tar med sig ytvattnet vid tuben. På större djup, däremot, sker en intransport mot kusten. Detta för med sig att den horisontella spridningen blir mycket effektiv. Det framgår av figur 16 b, där en spridning erhålls i hela norra Kalmar sund. Inne vid kusten mot fastlandet finns inga partiklar utan de finns i de centralare delarna av sundet, samt närmar sig Öland litet längre norrut, där de höga strömhastigheterna avtar. Drivbanorna visar att partiklarna ibland rör sig i samma område en tid, vilket beror på att de befinner sig på varierande nivåer. Nettoförflyttningen är på några ställen relativt begränsad.

Verifiering

Nordgående ström hos mätarna samtidigt med svag sydvästvind visar följande. I vertikal B1 erhölls relativt kraftig ström mot ost och nordost vilket stämmer mycket väl med modellberäkningen. I B2 var strömmen oftast nordgående med en viss dragning mot ost i såväl mätningarna som i simuleringen. I C1 varierade strömmarna vilket framgår av figur 16, där mätpunkten är belägen i utkanten av ett virvelsystem. För C3 gäller att strömmen går mot nordost 5 - 10 cm/s och detta ges även av modellen.

Nordgående ström, sydvästlig vind 15 m/s

Nordgående ström och sydvästlig vind 15 m/s ger en liknande cirkulation som vid vinden 5 m/s men med betydligt större strömhastigheter. Närmare 50 cm/s erhålls i området söder om tuben. En kraftig nordgående ytström förekommer utefter hela fastlandssidan. Två utsnitt är gjorda, ett från ytskiktet och ett från ett skikt nära botten. Vinden påverkar ytskiktet medan en delvis motriktad ström erhålls på större djup norr om Vållö, samtidigt som hastigheterna blir betydligt lägre.

Spridningen av avloppsvattnet går mer rakt norrut än för den svagare SW-vinden. Den följer även västra sidan i större utsträckning. Partiklarna i norr ska egentligen finnas utanför Kalmar sund. De försvinner ut ur sundet efter cirka 10 dygn. Se figur 17 a, b.

Verifiering

Vid de tillfällen när det rådde stark sydvästvind 10 - 20 m/s var strömmen riktad mot öster i B1, 5 - 10 cm/s. I modellen erhölls ström mot nordost. I B2 var strömmen svag och riktad mot öster 2 cm/s samt mot norr 5 cm/s på 5 meters djup. Simuleringen gav ström mot nordost, cirka 10 cm/s på 1 meters djup. Svagare ström erhölls på 5 meters djup. I C1 uppmättes nordostgående ström och likaså i C3. Simuleringen gav liknande strömning men något större hastigheter.

Sydgående ström, vindstilla

Strömmen är sydgående i skärgårdsområdet, vilket även gäller i närheten av utsläppstuben. Hastigheterna söder om tuben är mycket svaga, under 5 cm/s. De kraftigare strömmarna finns alltså främst in mot fastlandet norr om Mönsterås, varefter de går över mot Ölandssidan och vidare söderut. Det för med sig att avloppsvattnet långsamt transporteras rakt söderut. Figur 18 b visar förhållandena efter 20 dygn. Spridningen tvärs sundet är mycket begränsad varför partiklarna finns i ett stråk intill fastlandet.

Verifiering

Simuleringen gäller för islagd tid, vilket inte förekom under mätperioden.

Sydgående ström, nordostlig vind 10 m/s

Den sydgående strömmen förstärks kraftigt av den starka nordostvinden, som pressar in vattnet mot kusten, se figur 19. Väster och söder om tuben är hastigheterna upp till 40 cm/s och denna hastighet råder i stort sett utefter hela fastlandssidan. Något svagare syd- och sydvästgående strömmar råder i de övriga delarna av sundet. Liknande strömriktningar erhölls närmre bottnen i utsläppsområdet. Därför blir spridningen tvärs strömriktningen begränsad. Avloppsvattnet följer kusten i ett smalt stråk och försvinner förbi Skäggenäs efter cirka 3 dygn.

Verifiering

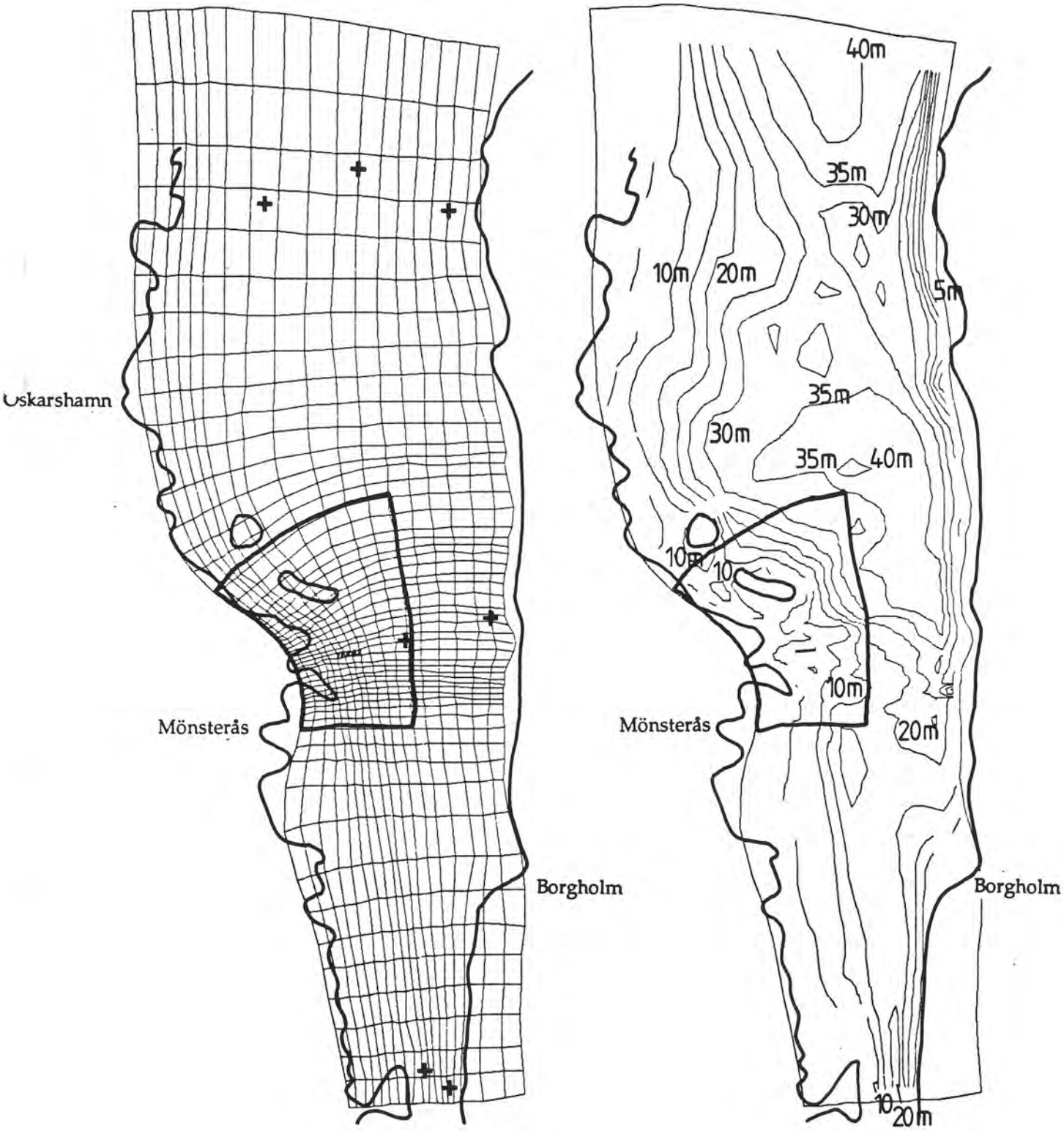
Mätningarna vid stark nordostlig vind gav sydgående ström i B1, 5 - 15 cm/s och modellen gav sydgående 15 cm/s på cirka 5 meters djup. Figur 19 visar strömmen på cirka 1 - 2 meters djup i mätpunkt B1. I B2 uppmättes något varierande ström mot söder/väster. Modellen gav sydvästgående som var cirka 15 cm/s. I nordligaste delen av sundet rådde varierande strömmar i C1 och nordgående i C3. Här visade modellen starka sydgående strömmar på västra sidan och svagare, varierande mot östra sidan. Antal tillfällen under hela mätperioden med typisk sydgående ström och stark nordostvind var ganska få, varför värdet av verifieringen är något begränsat.

Sydgående ström, västlig vind 10 m/s

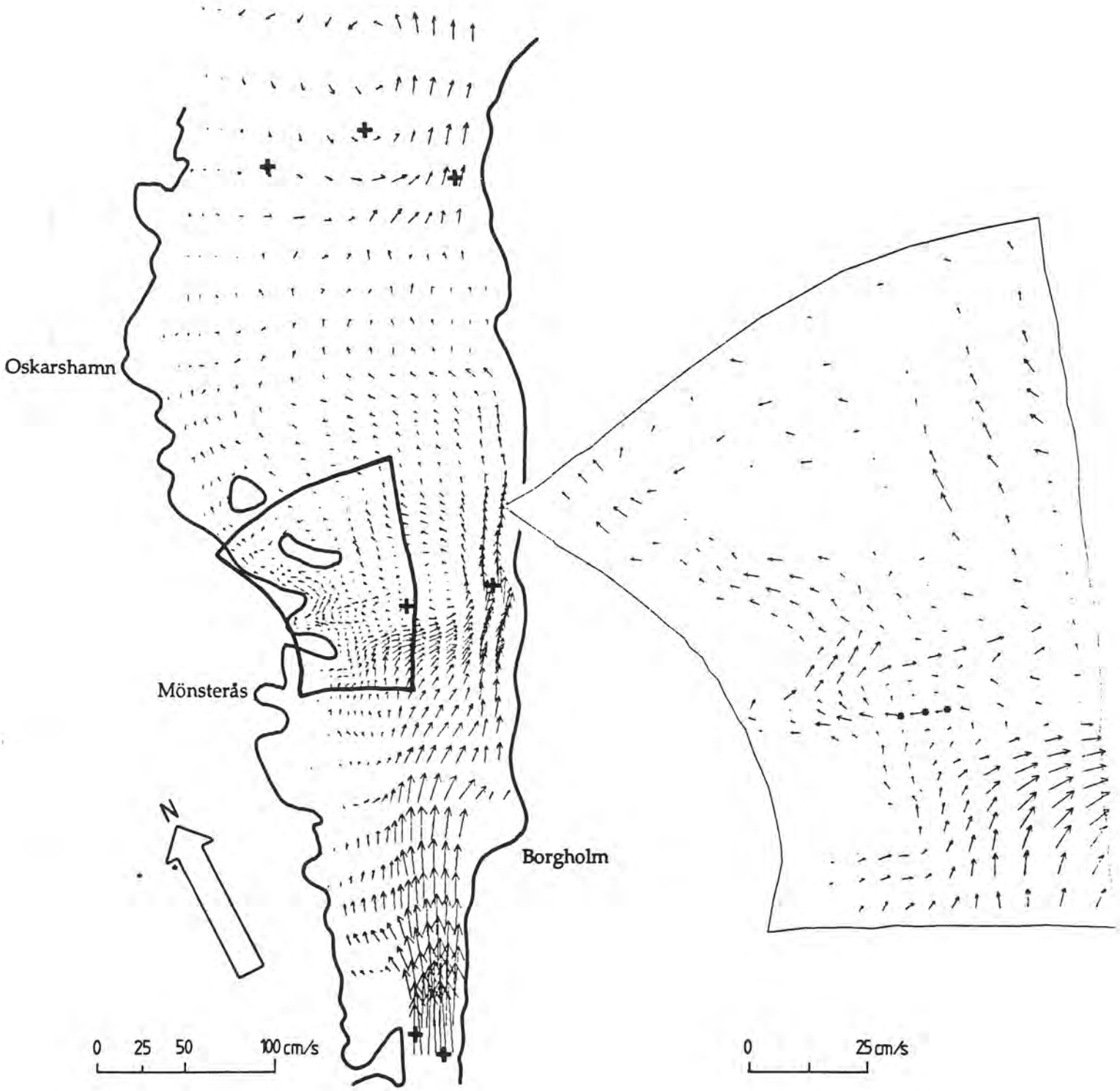
Vinden för ut ytvattnet från kusten och upp till 40 cm/s erhålls i modellen, se figur 20. I utsläppsområdet råder en kraftig enhetlig ström mot öster i ytskiktet. Hastigheten är cirka 25 cm/s. Vinden genererar även en nordgående ström mellan Skäggenäs och Mönsterås, som sedan förs österut och vidare mot söder. Spridningsberäkningarna avser 16 dygns förlopp och de visar att avloppsvattnet snabbt drivs över mot Öland för att sedan fortsätta söderut i Kalmar sund.

Verifiering

Antal tillfällen med stark västlig vind var cirka sex under mätperioden. Strömmen vid B1 var sydlig 5 - 20 cm/s på 5 meters djup och modellen visade sydostgående i ytan som i den här punkten motsvarar 1 - 2 meters djup och sydgående på något större djup. I B2 var strömmen oftast svag nordlig eller sydlig. Modellen gav här sydostlig ström nära ytan och västgående på större djup. I C1 erhölls ostgående i modellen nära ytan och i mätningarna på 5 m djup. Här är ytskiktet i modellen representativt för 5 m djup, ty ytskiktet är tjockare ju större bottendjupet är. I C3 uppmättes oftast nordgående ström 10 cm/s men även sydgående förekom och modellen hade ostgående ström på 5 m djup.

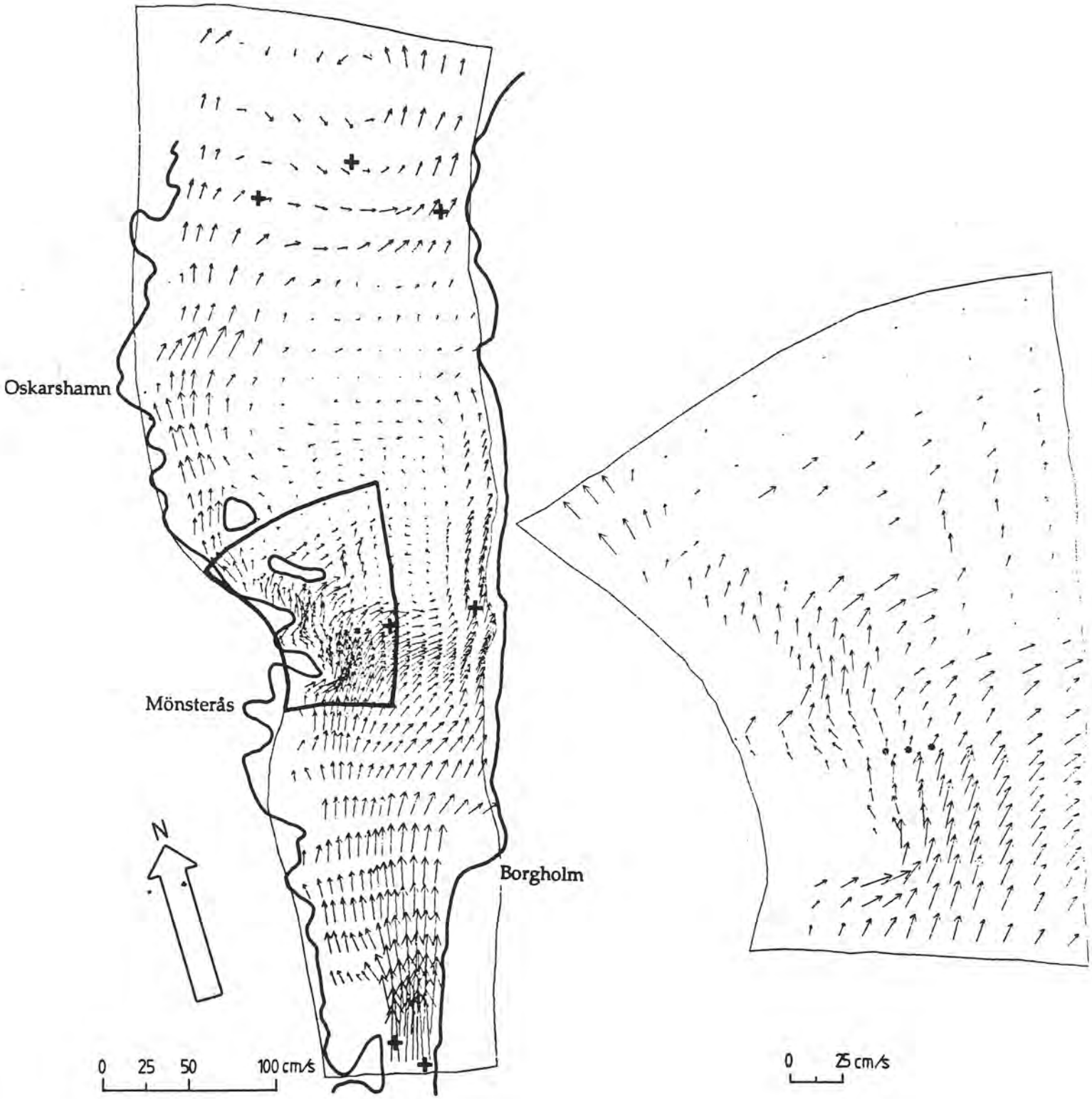


Figur 14 . *Gridnät och djuplinjer*

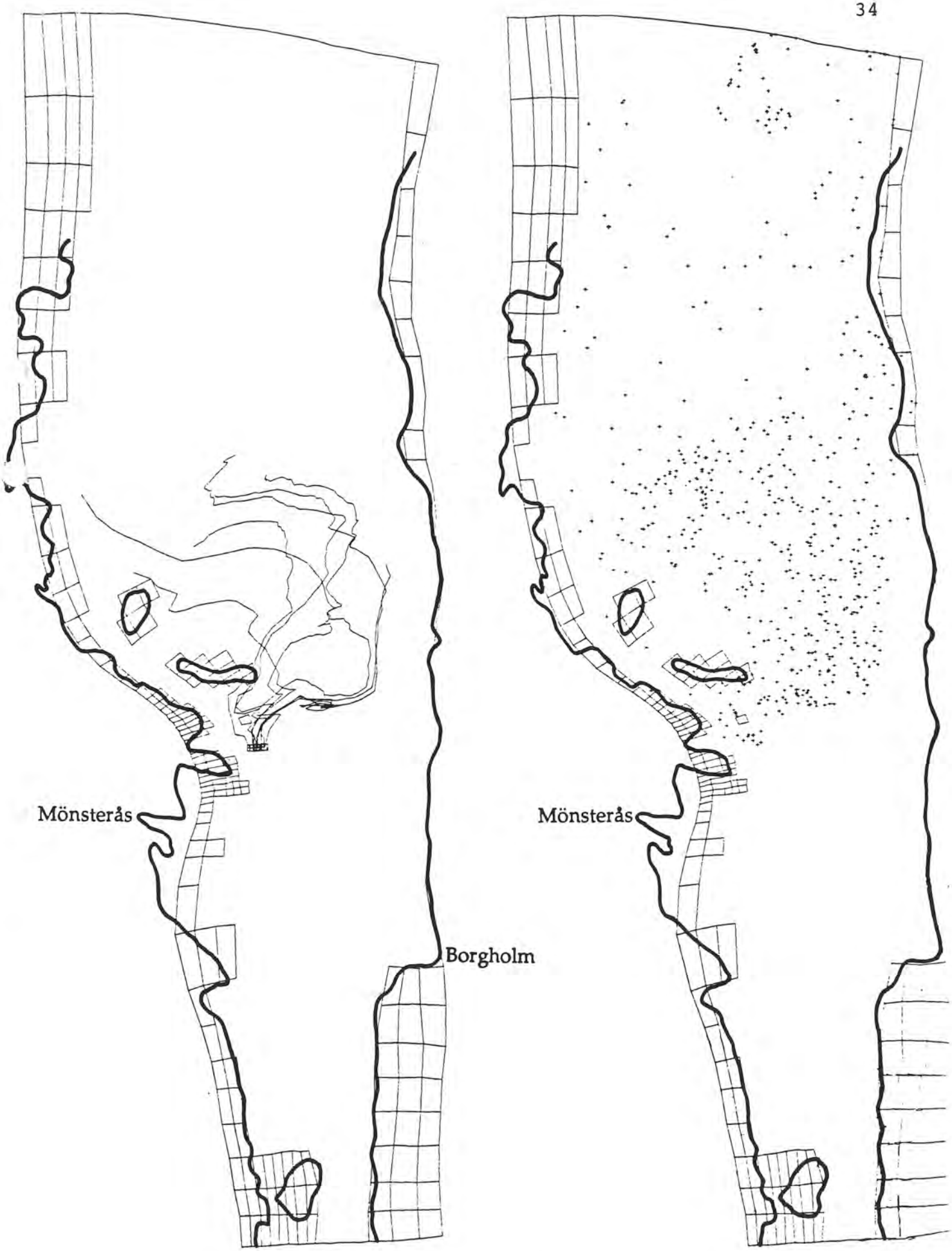


Figur 15 a. Nordgående ström på 1 meters djup, vindstilla

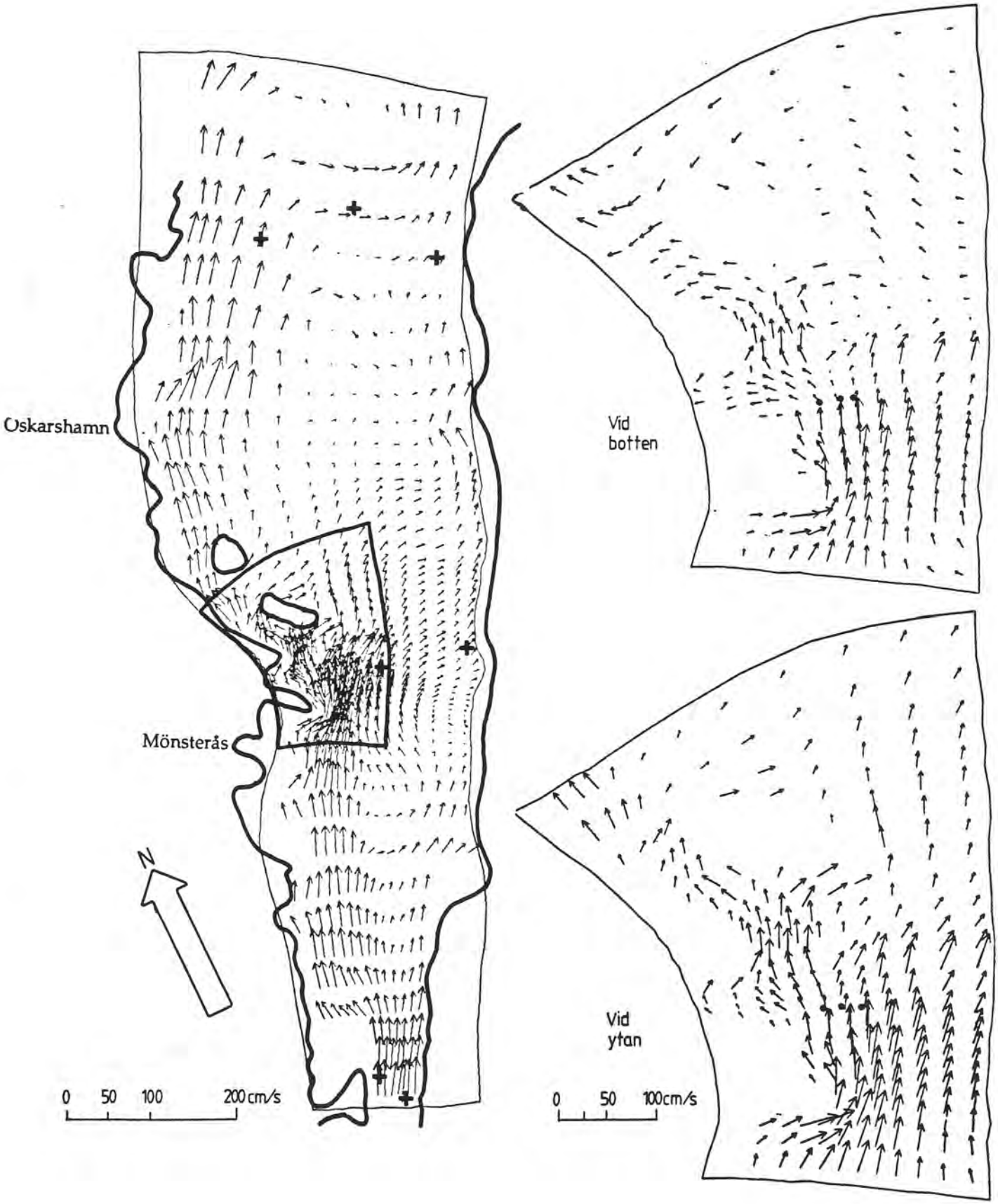
Figur 15 b. *Spridningsberäkning under 24 dygn med nordgående ström och vindstilla*



Figur 16 a. Nordgående ström på 1 meters djup, vind SW 5 m/s



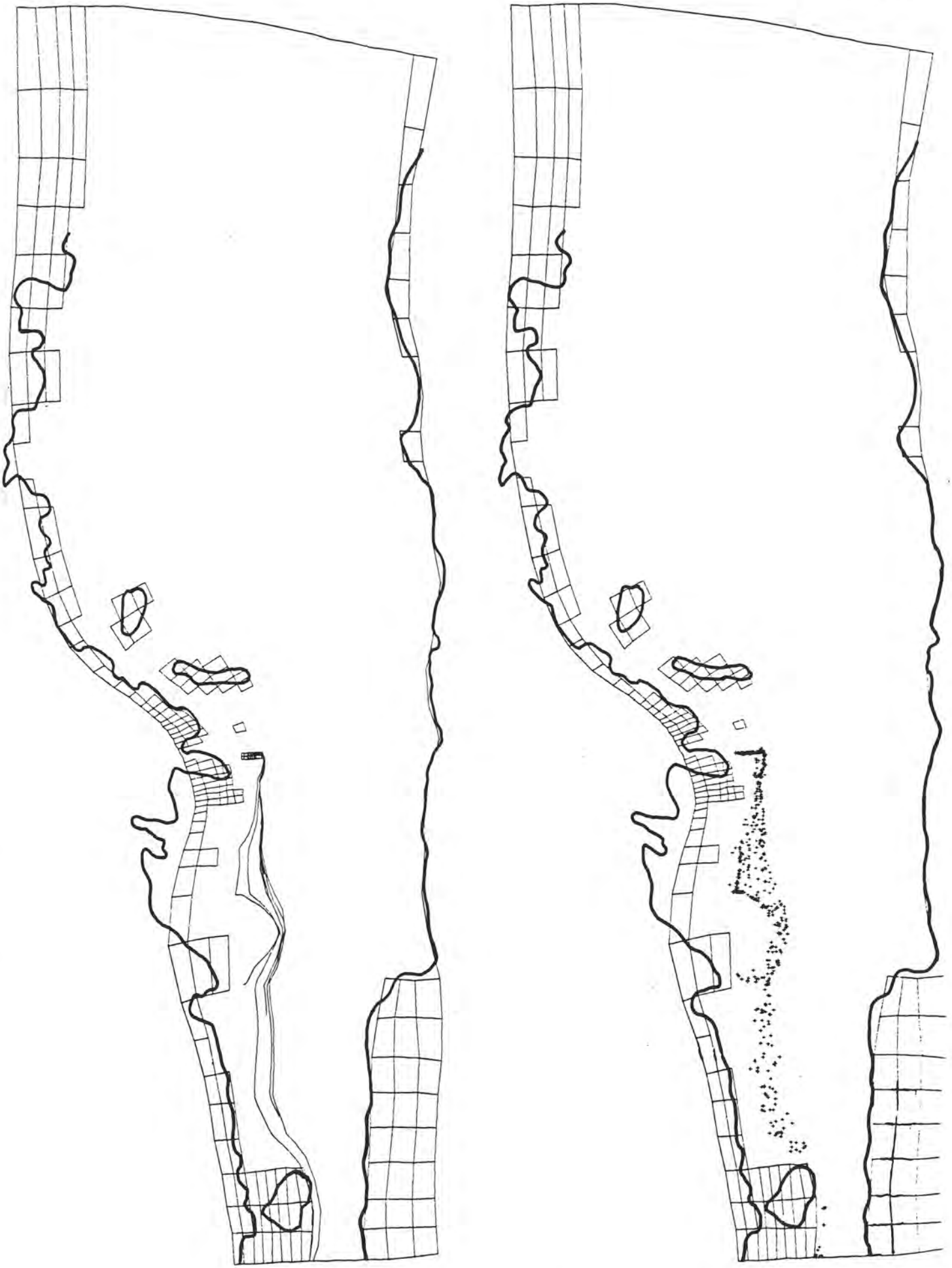
Figur 16 b. Spridningsberäkning under 24 dygn med nordgående ström och vind SW 5 m/s



Figur 17 a. Nordgående ström nära botten och på 1 meters djup, vind SW 15 m/s

Figur 17 b. Spridningsberäkning under 24 dygn med nordgående ström och vind SW 15 m/s

Figur 18 a. Sydgående ström på 1 meters djup, vindstilla



Figur 18 b. Spridningsberäkning under 20 dygn med sydgående ström och vindstilla

Figur 20 b. *Spridningsberäkning under 16 dygn med sydgående ström och vind W 10 m/s*

10 REFERENSER

Ref (1) W Krauss, Kiel University. Two-dimensional seiches and stationary drift current in the Baltic Sea. ICES Meeting 1974, paper no 10.

Ref (2) Bergstrand E. Strömundersökning i Kalmar sund. Utlåtande 16.2.1970.

SMHI
Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.